

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09222381 A

(43) Date of publication of application: 26.08.97

(51) Int. Cl.

G01M 11/00  
G02F 1/35

(21) Application number: 08029570

(22) Date of filing: 16.02.96

(71) Applicant: SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(72) Inventor: KASHIWADA TOMONORI  
KADOI MOTOTAKA

(54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER EVALUATION  
METHOD AND DEVICE

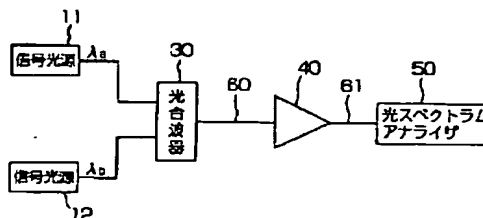
measurement result.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a small-scale method and device for evaluating an optical fiber amplifier for evaluating gain and noise index for each signal light of the optical fiber amplifier used for multiple-wavelength collective amplification easily.

**SOLUTION:** A signal beam (wavelength:  $\lambda_a$ , and  $\lambda_b$ ) where each wavelength mutually differs and the wavelength matches that of either signal light at the time of multiple-wavelength collective amplification, each quantity of light is nearly equal each other, and the total quantity of light is nearly equal to that of the signal light at the time of multiple-wavelength collective amplification is outputted from signal light sources 11 and 12, is synthesized by a light synthesizer 30, and is inputted to an optical fiber amplifier 40 to be measured. After amplification by an optical fiber amplifier 40, the quantity of light of the signal light being outputted is measured for each wavelength by a photo spectrum analyzer 50 and the characteristics of the optical fiber amplifier 40 are evaluated from the



J1017 U.S. PTO  
09/960503  
09/24/01

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 2 2 2 3 8 1

(43) 公開日 平成9年(1997)8月26日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 11/00			G 0 1 M 11/00	T
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 8

O L

(全 1 0 頁)

(21) 出願番号 特願平8-29570

(22) 出願日 平成8年(1996)2月16日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 柏田 智徳

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 角井 素貴

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

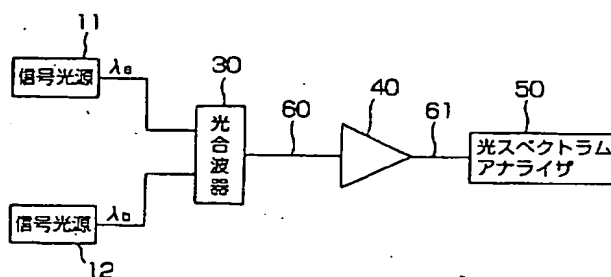
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器評価方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 多波長一括増幅に用いられる光ファイバ増幅器の各信号光に対する利得と雑音指数を評価するための小規模で評価容易な光ファイバ増幅器評価方法および装置を提供する。

【解決手段】 利得が波長に対して単調に増加または単調に減少する波長範囲において、それぞれの波長が互いに異なって多波長一括増幅時の信号光の何れかと一致し、それぞれの光量が互いに略等しく、全光量が多波長一括増幅時の信号光の全光量に略等しい信号光（波長  $\lambda_a$  および  $\lambda_b$ ）が信号光源 11 および 12 から出力され、光合波器 30 で合波されて、測定対象である光ファイバ増幅器 40 に入力される。光ファイバ増幅器 40 で増幅された後に出力された信号光の各波長について光スペクトラムアナライザ 50 によって光量が測定され、その測定結果から光ファイバ増幅器 40 の特性が評価される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 利得が波長に対して単調に増加または単調に減少する波長範囲に含まれ互いに波長が異なる第 1 の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価方法であって、それぞれの波長が互いに異なって前記第 1 の数の信号光の何れかと一致し、それぞれの光量が互いに略等しく、全光量が前記第 1 の数の信号光の全光量に略等しく、前記第 1 の数よりも少なく且つ 2 以上である第 2 の数の信号光を、波長多重化して前記光ファイバ増幅器に入力する第 1 のステップと、

前記光ファイバ増幅器に入力され、前記光ファイバ増幅器で増幅されて、前記光ファイバ増幅器から出力された前記第 2 の数の信号光それぞれの光量を測定する第 2 のステップと、

を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項 2】 前記第 1 のステップは、前記第 2 の数の信号光の内の 1 の信号光が、前記第 1 の数の信号光のうちの最小波長と等しい波長であり、前記第 2 の数の信号光の内の他の 1 の信号光が、前記第 1 の数の信号光のうちの最大波長と等しい波長である、ことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項 3】 前記第 1 のステップは、前記第 2 の数の信号光の内の少なくとも 1 つの信号光の波長が前記第 1 の数の信号光の内の各信号光の波長それぞれに等しく設定される、ことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項 4】 前記第 1 のステップは、前記第 2 の数の信号光それぞれの光量が調整される、ことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ増幅器評価方法。

【請求項 5】 利得が波長に対して単調に増加または単調に減少する波長範囲に含まれ互いに波長が異なる第 1 の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価装置であって、それぞれの波長が互いに異なって前記第 1 の数の信号光の何れかと一致し、それぞれの光量が互いに略等しく、全光量が前記第 1 の数の信号光の全光量に略等しく、前記第 1 の数よりも少なく且つ 2 以上である第 2 の数の信号光を出力する信号光源部と、

前記信号光源部から出力された前記第 2 の数の信号光を波長多重化して、前記光ファイバ増幅器に向けて出力する光合波器と、

前記光ファイバ増幅器に入力され、前記光ファイバ増幅器で増幅されて、前記光ファイバ増幅器から出力された前記第 2 の数の信号光それぞれの光量を測定する測定手段と、

を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項 6】 前記信号光源部は、前記第 2 の数の信号光の内の 1 の信号光が、前記第 1 の数の信号光のうちの最小波長と等しい波長であり、前記第 2 の数の信号光の

内の他の 1 の信号光が、前記第 1 の数の信号光のうちの最大波長と等しい波長である、ことを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項 7】 前記信号光源部は、前記第 2 の数の信号光の内の少なくとも 1 つの信号光の波長を変更する波長変更手段を備える、ことを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ増幅器評価装置。

【請求項 8】 前記信号光源部は、前記第 2 の数の信号光それぞれの光量を調整する光量調整手段を備える、ことを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ増幅器評価装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、異なる複数の波長の光を信号光として光ファイバ伝送を行う光中継伝送に用いられる光ファイバ増幅器、特に増幅用光ファイバの特性評価技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】異なる複数の波長の光を信号光として光ファイバ伝送を行う、例えば波長多重伝送を行う光通信は、図 9 に示すような光中継伝送装置を用いて行われる。

【0003】まず、送信端局 100 において、 $n$  個の情報信号は、光送信器 101, 102, ..., 10 $n$  によりそれぞれ波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の信号光に変換され、更にこれら  $n$  波の信号光は、光合波器 110 により波長多重化される。そしてこの波長多重化され信号光は、光ファイバ伝送路 111 に送出される。

【0004】光ファイバ伝送路 111 の途中には、光増幅器 121, ..., 12 $n$  が配置されており、これらの光増幅器 121, ..., 12 $n$  により、波長多重化され信号光は一括増幅される。こうして信号光は伝送中の損失を補償されつつ、受信端局 130 に伝送される。

【0005】受信端局 130 においては、波長多重化された信号光は、光分波器 131 により波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の信号光に分波され、更にこれら  $n$  波の信号光は、光受信器 141, 142, ..., 14 $n$  により  $n$  個の情報信号に変換され、抽出される。

【0006】そして近年、こうした異なる複数の波長の光を信号光として伝送を行う光中継伝送装置に使用される光増幅器としては、高利得および低ノイズ性に優れていることから、コアに希土類元素を添加した増幅用光ファイバを用いた光ファイバ増幅器が検討されている。特に、波長 1.55  $\mu\text{m}$  帯の光増幅器として、希土類元素の Er を添加した光ファイバ (EDF; Erbium-Doped Fiber) を用いた Er 添加光ファイバ増幅器 (EDFA; Erbium-Doped Fiber Amplifier) が有望とされている。

【0007】この光ファイバ増幅器は、利得が大きく、雑音指数 (NF; Noise Factor) が小さい方が好ましい。又、各波長の信号光に対する利得が略一定であるこ

とが望ましい。従って、光ファイバ増幅器の開発に際しては、このような良好な特性を目指して開発が進められ、又、光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの生産に際しては、この特性に関して品質評価・生産管理が行われる必要がある。

【0008】従来、開発あるいは生産時における光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの利得や雑音指数の特性を、以下のようにして評価していた。実際の多波長一括増幅に用いられる全ての波長の信号光のそれぞれを出力する信号光源を用意し、それぞれの信号光源から出力された信号光を波長多重化し、波長多重化された信号光を光ファイバ増幅器に入力し、光ファイバ増幅器で多波長一括増幅された後に出力された光のスペクトラムを測定し、その測定結果から光ファイバ増幅器の利得や雑音指数を得ていた（例えば、S.M. Hwang, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol.5, no.10, pp.1190-1193, 1993）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記従来例による光ファイバ増幅器評価方法および装置では、実際の多波長一括増幅に用いられる波長の数だけ信号光源が必要となる。従って、評価システムが大規模であり高価であり、これら多数の信号光源を調達することが困難であるという問題点があった。又、多数の信号光源から出力される信号光それぞれの光量や波長を調整して光ファイバ増幅器および増幅用光ファイバの特性を評価を行う必要があるため、評価作業が煩雑であるという問題点もあった。

【0010】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、小規模で評価容易な光ファイバ増幅器評価方法および装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバ増幅器評価方法は、利得が波長に対して単調に増加または単調に減少する波長範囲に含まれ互いに波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価方法であって、(1)それぞれの波長が互いに異なって第1の数の信号光の何れかと一致し、それぞれの光量が互いに略等しく、全光量が第1の数の信号光の全光量に略等しく、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を、波長多重化して光ファイバ増幅器に入力する第1のステップと、(2)光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光それぞれの光量を測定する第2のステップと、を備えることを特徴とする。

【0012】第1のステップにおいて、以上のような条件を満たす第2の数の信号光が合波されて測定対象である光ファイバ増幅器に入力すると、光ファイバ増幅器では多波長一括増幅時における反転分布状態が再現されるので、第2のステップで測定した第2の数の信号光それ

ぞれの光量から、多波長一括増幅時の特性（利得、雑音指数）が評価される。

【0013】また、第1のステップにおいて、第2の数の信号光の内の1の信号光が、第1の数の信号光のうちの最小波長と等しい波長であり、第2の数の信号光の内の他の1の信号光が、第1の数の信号光のうちの最大波長と等しい波長であれば、その最小波長および最大波長それぞれの信号光に対する特性の絶対値が得られる。

【0014】また、第1のステップにおいて、第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の波長が第1の数の信号光の内の各信号光の波長それぞれに等しく設定されれば、第1の数の信号光それぞれに対する特性の相対差が得られる。

【0015】また、第1のステップにおいて、第2の数の信号光それぞれの光量が調整されれば、多波長一括増幅における第1の数の信号光の全光量の値それぞれにおける特性が得られる。

【0016】本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置は、利得が波長に対して単調に増加または単調に減少する波長範囲に含まれ互いに波長が異なる第1の数の信号光を多波長一括増幅する光ファイバ増幅器の特性を評価する光ファイバ増幅器評価装置であって、(1)それぞれの波長が互いに異なって第1の数の信号光の何れかと一致し、それぞれの光量が互いに略等しく、全光量が第1の数の信号光の全光量に略等しく、第1の数よりも少なく且つ2以上である第2の数の信号光を出力する信号光源部と、(2)信号光源部から出力された第2の数の信号光を波長多重化して、光ファイバ増幅器に向けて出力する光合波器と、(3)光ファイバ増幅器に入力され、光ファイバ増幅器で増幅されて、光ファイバ増幅器から出力された第2の数の信号光それぞれの光量を測定する測定手段と、を備えることを特徴とする。

【0017】以上のような条件を満たす第2の数の信号光が、信号光源部から出力され、合波器で合波されて、測定対象である光ファイバ増幅器に入力すると、光ファイバ増幅器では多波長一括増幅時における反転分布状態が再現されるので、測定手段で測定した第2の数の信号光それぞれの光量から、多波長一括増幅時の特性（利得、雑音指数）が評価される。

【0018】また、信号光源部において、第2の数の信号光の内の1の信号光が、第1の数の信号光のうちの最小波長と等しい波長であり、第2の数の信号光の内の他の1の信号光が、第1の数の信号光のうちの最大波長と等しい波長であれば、その最小波長および最大波長それぞれの信号光に対する特性の絶対値が得られる。

【0019】また、信号光源部が、第2の数の信号光の内の少なくとも1つの信号光の波長を変更する波長変更手段を備える場合には、第1の数の信号光それぞれに対する特性の相対差が得られる。

【0020】また、信号光源部は、第2の数の信号光そ

それぞれの光量を調整する光量調整手段を備える場合には、多波長一括増幅における第1の数の信号光の全光量の値それぞれにおける特性が得られる。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0022】先ず、本発明の実施形態の説明に先立って、光ファイバ増幅に関して発明者が得た知見について説明する。増幅用光ファイバ（例えば希土類元素Erを添加したEDF）を用いた光ファイバ増幅器は、励起光により反転分布が形成され、この時に入力する信号光の全光量に応じた誘導放出が発生し、その信号光を増幅する。したがって、光ファイバ増幅器の利得および雑音指数は、EDFの反転分布（ $N_2$ ：Erイオンの励起準位の分布）によって決定される。

【0023】このEDFの反転分布 $N_2$ は、

【数1】

$$N_2 = N_{\text{total}} \cdot \frac{\sum_k \frac{\tau \sigma_a(k)}{h \nu_k} \cdot I_k}{1 + \sum_k \{(\sigma_a(k) + \sigma_e(k)) / h \nu_k\} \cdot \tau I_k} \quad \dots (1)$$

なる関係式で表される。ここで、 $N_{\text{total}}$ は全Erイオン数、 $h$ はプランク定数、 $\nu_k$ は $k$ 番目の信号光の波長、 $h \nu_k$ は $k$ 番目の信号光の光子エネルギー、 $\tau$ は蛍光寿命、 $I_k$ は $k$ 番目の信号光の強度、 $\sigma_a(k)$ は $k$ 番目の信号光の吸収断面積、 $\sigma_e(k)$ は $k$ 番目の信号光の誘導放出断面積であり、演算記号 $\Sigma$ は全ての信号光についての総和を表す（例えば、C.R.Giles, et al., J. Lightwave Technol., Vol. 9, No. 2, pp. 271-283, 1991）。

【0024】この(1)式から、もし、多波長一括増幅時の反転分布状態を少数の信号光で再現できれば、その少数の信号光でEDFの多波長一括増幅時の利得および雑音指数の評価が可能となると考えられる。特に、吸収断面積 $\sigma_a$ と誘導放出断面積 $\sigma_e$ とが信号光の波長に依らず一定である波長範囲では、信号光の強度の総和 $\Sigma I_k$ が一致すれば、反転分布 $N_2$ も一致し、利得および雑音指数の特性は信号光の数に依存しないと考えられる。したがって、実際の多波長一括増幅に用いられる多数の信号光それぞれに対する利得と雑音指数とを、少数の信号光を用いるだけで評価できると予想される。

【0025】ただし、信号光の強度 $I_k$ が大きい場合や、吸収断面積 $\sigma_a$ と誘導放出断面積 $\sigma_e$ とが信号光の波長に依存して一定でない波長範囲では、仮に信号光の強度の総和 $\Sigma I_k$ が一致したとしても、反転分布 $N_2$ が一致するとは限らず、したがって、利得および雑音指数の特性は信号光の数に依存すると考えられる。しかし、この場合であっても、吸収断面積 $\sigma_a$ と誘導放出断面積 $\sigma_e$ とが波長に対して単調に増加あるいは単調に減

少する波長範囲では、信号光それぞれの強度を一致させ且つ信号光の強度の総和 $\Sigma I_k$ を一致させれば、その波長範囲内で吸収断面積 $\sigma_a$ と誘導放出断面積 $\sigma_e$ とが平均化されて、反転分布 $N_2$ を一致させることができると考えられる。したがって、この場合にも、実際の多波長一括増幅に用いられる多数の信号光それぞれに対する利得と雑音指数とを、少数の信号光を用いるだけで評価できると予想される。

【0026】以上に述べたように、実際の多波長一括増幅に用いられる信号光の中から選択した2波長の信号光を、所定条件を満たす強度で評価対象である光ファイバ増幅器に入力し、これら2波長の信号光に関して利得と雑音指数とを評価すれば、実際の多波長一括増幅時におけるその光ファイバ増幅器の利得と雑音指数とを推定することができると思われ。発明者は、これに関してシミュレーションおよび実験によって確認した（詳細は後述）。本発明は以上の知見に基づくものである。

【0027】次に、本発明の実施形態について説明する。図1は、本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置は、(1)互いに異なる2個の波長 $\lambda_a$ および $\lambda_b$ のそれぞれの信号光を出力する2個の信号光源11および12と、(2)信号光源11および12それぞれから出力された信号光を波長多重化し、その波長多重化された信号光を光ファイバ伝送路60に送出する光合波器30と、(3)光ファイバ増幅器40から光ファイバ伝送路61に送出された信号光を入力して、その信号光のスペクトラムを解析する光スペクトラムアナライザ50と、を備える。

【0028】信号光源11および12は、それぞれ互いに異なる波長 $\lambda_a$ および $\lambda_b$ の信号光を出力する。これら波長 $\lambda_a$ および $\lambda_b$ は、実際の多波長一括増幅で用いられる信号光の内の2つの信号光の波長であり、例えば、1.55 $\mu\text{m}$ 帯の光ファイバ増幅器40を評価する場合には、波長 $\lambda_a$ および $\lambda_b$ は、1540nmから1565nmまでの範囲に含まれる。

【0029】信号光源11および12として、例えば半導体レーザが用いられ、これらのうち少なくとも一方は、出力される信号光の波長が可変のものである。なお、信号光源11および12のうち一方の信号光源のみが波長可変のものである場合には、他方の信号光源は、多波長一括増幅に用いられる信号光のうちの波長の最も短い又は最も長い信号光を出力するものである必要がある。例えば、波長可変の信号光源として、光伸光学工業株式会社製の波長可変半導体レーザ光源LS-201Aが用いられ、この場合、1470nmから1570nmまでの波長の信号光が得られる。なお、実際の多波長一括増幅に用いられる信号光それぞれを出力する信号光源を用意しておいて、これらを任意に組み合わせることも考えられるが、この場合、評価装置が大規模に

なって、本発明が解決しようとする課題の解決にはならないので不適当である。

【0030】また、信号光源11および12それぞれは、出力される信号光の強度を調整する手段を有するものである。あるいは、信号光源11および12とは別に、光フィルタ等の光減衰器（図示せず）を設けてもよい。

【0031】信号光源11および12それぞれから出力された信号光を入力する光合波器30は、これら2つの信号光を波長多重化し、波長多重化された信号光を光ファイバ伝送路60に送出する。評価対象である光ファイバ増幅器40は、光合波器30から出力された波長多重化された信号光を入力し、多波長一括増幅し、その結果を光ファイバ伝送路61に送出する。

【0032】この光ファイバ増幅器40内の各構成要素およびその作用は以下の通りである。図2は、光ファイバ増幅器の構成図である。光合波器30から出力され光ファイバ伝送路60を伝送されてきた信号光を入力する光アイソレータ41は、その信号光を増幅用光ファイバ42に向けて透過させる。また、励起光源43は、増幅用光ファイバ42における多波長一括増幅の為に必要な励起光を出力し、その励起光は光結合器44を介して増幅用光ファイバ42に入力する。そして、増幅用光ファイバ42は、励起光が入力している時に信号光が入力すると、その信号光を多波長一括増幅し、多波長一括増幅された信号光を出力する。この多波長一括増幅された信号光は、光結合器44を経て、更に光アイソレータ45を通過して、光ファイバ伝送路61に送出される。

【0033】尚、図2では、光結合器44を増幅用光ファイバ42の後段に設けることにより、励起光が後方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光出力側から励起光を入力）により増幅用光ファイバ42に供給される図を示したが、前方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光入力側から励起光を入力）や双方向励起（増幅用光ファイバ42の信号光入力側および信号光出力側の双方から励起光を入力）でも構わない。

【0034】以上のように光ファイバ増幅器40で多波長一括増幅され出力されて光ファイバ伝送路61を伝送されてきた波長多重化された信号光は、光スペクトラムアナライザ50に入力され、その信号光の光スペクトラムが解析される。即ち、波長 $\lambda_a$ および $\lambda_b$ の信号光それぞれの光量が測定される。

【0035】次に、本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置を用いた光ファイバ増幅器評価方法について説明する。なお、評価対象である光ファイバ増幅器40が実際に多波長一括増幅する $n$ 波（ $n > 2$ ）の信号光の波長を、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ （ $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \dots < \lambda_n$ ）とし、この波長範囲においては利得が単調増加あるいは単調減少するものとする。また、信号光源11および12は共に、出力信号光の波長および強度を可

変に調整できるものとする。

【0036】一方の信号光源11から出力される信号光の波長 $\lambda_a$ を、光ファイバ増幅器40が実際に多波長一括増幅する信号光の波長のうち最も短い波長 $\lambda_1$ に調整し、他方の信号光源12から出力される信号光の波長 $\lambda_b$ を、光ファイバ増幅器が実際に多波長一括増幅する信号光の波長のうち最も長い波長 $\lambda_n$ に調整する。また、信号光源11および12それぞれの出力強度を調整して、光ファイバ増幅器40に入力する波長 $\lambda_a$ （ $= \lambda_1$ ）および $\lambda_b$ （ $= \lambda_n$ ）それぞれの信号光の強度を等しくし、且つ、両者の強度の和を実際が多波長一括増幅時の信号強度の総和に等しくする。

【0037】このように波長と強度とが調整された2つの信号光は、光合波器30によって合波されて、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力され増幅される。そして、光ファイバ増幅器40で増幅された信号光は、光スペクトラムアナライザ50によって、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_n$ それぞれの強度が測定される。このようにして、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_n$ それぞれにおける利得と雑音指数とが評価される。このようにして得られた評価結果は、後述するシミュレーション結果および実験結果が示すように、実際の多波長一括増幅時における波長 $\lambda_1$ および $\lambda_n$ それぞれの信号光に対する利得と雑音指数に一致する。

【0038】また、一方の信号光源11から出力される信号光の波長 $\lambda_a$ を、光ファイバ増幅器40が実際に多波長一括増幅する信号光の波長のうち最も短い波長 $\lambda_1$ に調整したままとし、他方の信号光源12から出力される信号光の波長 $\lambda_b$ を、光ファイバ増幅器が実際に多波長一括増幅する信号光の波長のうちであって、 $\lambda_1$ および $\lambda_n$ を除く任意の1つの波長（例えば $\lambda_2$ ）に調整する。また、信号光源11および12それぞれの出力強度を調整して、光ファイバ増幅器40に入力する波長 $\lambda_a$ （ $= \lambda_1$ ）および $\lambda_b$ （ $= \lambda_2$ ）それぞれの信号光の強度を等しくし、且つ、両者の強度の和を実際が多波長一括増幅時の信号強度の総和に等しくする。

【0039】この場合も同様に、2つの信号光は、光合波器30によって合波されて、評価対象である光ファイバ増幅器40に入力され増幅される。そして、光ファイバ増幅器40で増幅された信号光は、光スペクトラムアナライザ50によって、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ それぞれの強度が測定される。このようにして、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ それぞれにおける利得と雑音指数とが評価される。このようにして得られた評価結果は、後述するシミュレーション結果および実験結果が示すように、実際の多波長一括増幅時における波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ それぞれの信号光に対する利得と雑音指数とは、一定の差を有するものである。信号光源12の出力波長を他の波長（ $\lambda_3, \dots, \lambda_{n-1}$ ）に調整して同様に利得と雑音指数とを評価する。また、信号光源11および12それぞれの出

力信号光の波長を、多波長一括増幅時の信号光の波長 ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ ) の内の任意の2波としてもよい。

【0040】以上のようにして、実際に多波長一括増幅時における最大波長 $\lambda_1$ および最小波長 $\lambda_n$ それぞれの信号光に対する利得と雑音指数が得られ、また、その他の2波長の信号光に対しては一定差の利得と雑音指数とが得られるので、結局、全ての波長に対して利得と雑音指数とが得られることになる。

【0041】次に、本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置および方法によるシミュレーションおよび実験の結果について説明する。

【0042】このシミュレーションおよび実験の前提条件は以下のとおりである。光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバはA1共添加EDFであり、Er添加濃度は約0.1wt%、Al添加濃度は約1wt%、長さは20m (シミュレーション) または22m (実験) である。光ファイバ増幅器は、後方向励起方式により信号光を増幅するものであり、励起光波長は1.48 $\mu$ m、励起光光量は50mWである。合波されて光ファイバ増幅器に入力する信号光は、1540/1546/1552/1558nmの4波、或いは、これら4波のうちの2波であって、光ファイバ増幅器の利得は、この波長範囲では波長に対して単調に増加する。また、4波増幅時あるいは2波増幅時ともに、全信号光強度は、-4/-14/-24dBmの3種類とした。

【0043】図3は、利得の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフであり、図4は、雑音指数の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフであり、図5は、利得の波長依存性について行なった実験の結果を示すグラフである。

【0044】図3(a)、図4(a)および図5(a)は、4波増幅時の各信号光の強度を-10dBmとし、2波増幅時の各信号光の強度を-7dBmとし、いずれも全信号光の強度を-4dBmとした場合のシミュレーションあるいは実験の結果である。図3(b)、図4(b)および図5(b)は、4波増幅時の各信号光の強度を-20dBmとし、2波増幅時の各信号光の強度を-17dBmとし、いずれも全信号光の強度を-14dBmとした場合のシミュレーションあるいは実験の結果である。図3(c)、図4(c)および図5(c)は、4波増幅時の各信号光の強度を-30dBmとし、2波増幅時の各信号光の強度を-27dBmとし、いずれも全信号光の強度を-24dBmとした場合のシミュレーションあるいは実験の結果である。

【0045】これらのシミュレーション結果および実験結果から以下の事項が判る。利得の波長依存性に関するシミュレーション結果(図3)と実験結果(図5)とはよい一致を示していることが判る。また、この全信号光

の強度の範囲では、何れの結果を見ても、4波増幅時における最小波長(1540nm)および最大波長(1558nm)の信号光それぞれに対する特性(利得および雑音指数)は、その最小波長および最大波長の信号光の2波増幅時におけるその2つの信号光それぞれに対する特性と一致している。また、それ以外の何れの2波長の組み合わせ(1540/1552nm、1540/1546nm、1552/1558nm)の場合でも、2波増幅時におけるその2つの信号光それぞれに対する特性は、4波増幅時において対応する2波の信号光それぞれに対する特性とは、一定差になっている。

【0046】したがって、前述した光ファイバ増幅器評価装置および方法によれば、実際の多波長一括増幅時の信号光の数と同数の信号光源を用いることなく、少なくとも一方が波長可変である2つの信号光源を用いるだけで、光ファイバ増幅器の特性(利得と雑音指数)を評価することができる。

【0047】次に、本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置および方法による別の条件下におけるシミュレーションおよび実験の結果について説明する。

【0048】このシミュレーションおよび実験の前提条件は以下のとおりである。光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバはA1共添加EDFであり、Er添加濃度は約0.1wt%、Al添加濃度は約1wt%、長さは20m (シミュレーション) または22m (実験) である。光ファイバ増幅器は、後方向励起方式により信号光を増幅するものであり、励起光波長は1.48 $\mu$ m、励起光光量は50mWである。合波されて光ファイバ増幅器に入力する信号光は、1540/1546/1552/1558nmの4波、1553/1557/1561/1565nmの4波、1561/1563/1565/1567nmの4波、および、これら3通りの4波それぞれにおける最小波長および最大波長の2波、の計6通りの組み合わせである。但し、光ファイバ増幅器の利得は、波長範囲1540~1558nmでは単調に増加し、波長範囲1561~1567nmでは単調に減少し、そして、波長1560nm付近で極大となる。また、4波増幅時あるいは2波増幅時ともに、全信号光強度は、-4/-24dBmの2種類とした。

【0049】図6は、利得の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフであり、図7は、雑音指数の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフであり、図8は、利得の波長依存性について行なった実験の結果を示すグラフである。

【0050】図6(a)、図7(a)および図8(a)は、4波増幅時の各信号光の強度を-10dBmとし、2波増幅時の各信号光の強度を-7dBmとし、いずれも全信号光の強度を-4dBmとした場合のシミュレーションあるいは実験の結果である。図6(b)、図7

(b) および図 8 (b) は、4 波増幅時の各信号光の強度を  $-30 \text{ dBm}$  とし、2 波増幅時の各信号光の強度を  $-27 \text{ dBm}$  とし、いずれも全信号光の強度を  $-24 \text{ dBm}$  とした場合のシミュレーションあるいは実験の結果である。

【0051】これらのシミュレーション結果および実験結果から、この条件下でも、利得の波長依存性に関するシミュレーション結果 (図 6) と実験結果 (図 8) とはよい一致を示していることが判る。また、利得が単調増加する波長範囲  $1540 \sim 1558 \text{ nm}$ 、および、利得が単調減少する波長範囲  $1561 \sim 1567 \text{ nm}$  では、4 波増幅時における最小波長および最大波長の信号光それぞれに対する特性 (利得および雑音指数) は、その最小波長および最大波長の信号光の 2 波増幅時におけるその 2 つの信号光それぞれに対する特性と一致している。

【0052】しかし、利得の極大点を有する波長範囲  $1553 \sim 1565 \text{ nm}$  では、4 波増幅時における最小波長および最大波長の信号光それぞれに対する特性 (利得および雑音指数) と、その最小波長および最大波長の信号光の 2 波増幅時におけるその 2 つの信号光それぞれに対する特性とは、全信号光の強度が  $-24 \text{ dBm}$  であって小さい場合には一致しているものの (図 6 (b)、図 7 (b) および図 8 (b))、全信号光の強度が  $-4 \text{ dBm}$  であって大きい場合には一致していない (図 6 (a)、図 7 (a) および図 8 (a))。なお、その場合であっても、2 波増幅時におけるその 2 つの信号光それぞれに対する特性は、4 波増幅時において対応する 2 波の信号光それぞれに対する特性とは、一定差になっている。

【0053】したがって、利得の極大点が存在する波長範囲である場合には、信号光それぞれの特性 (利得および雑音指数) の相対差が得られるものの、全信号光の強度に依っては絶対値を得ることができない場合があるので、結局、光ファイバ増幅器の特性 (利得と雑音指数) を評価することができない。

【0054】本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、2 つの信号光源のうち、一方だけが波長可変であってもよいし、双方ともに波長可変であってもよい。また、実際の多波長一括増幅に用いられる信号光から任意に 2 波長を選択してよい。また、評価に用いる信号光の数は 3 波以上であってもよい。

【0055】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバ増幅方法および装置によれば、実際の多波長一括増幅時の信号光の波長の数よりも少ない数の信号光で、多波長一括増幅時における光ファイバ増幅器の反転分布状態が再現されるので、光ファイバ増幅器で増幅されて出力された信号光それぞれの光量から、多波長一括増幅時の特性 (利得、雑音指数) が評価され、小規

模なシステムで容易に光ファイバ増幅器の特性を評価することができる。

【0056】特に、評価用の信号光の内の 1 の信号光が、実際の多波長一括増幅時の信号光のうちの最小波長と等しい波長であり、評価用の信号光の内の他の 1 の信号光が、多波長一括増幅時の信号光のうちの最大波長と等しい波長であれば、その最小波長および最大波長それぞれの信号光に対する特性の絶対値が得られる。また、評価用の信号光の内の少なくとも 1 つの信号光の波長が、多波長一括増幅時の信号光の内の各信号光の波長それぞれに等しく設定されれば、多波長一括増幅時の信号光それぞれに対する特性の相対差が得られる。以上のことから、結局、多波長一括増幅時に用いられる全ての信号光それぞれに対する特性の絶対値が得られる。

【0057】また、評価用の信号光それぞれの光量が調整されれば、多波長一括増幅における信号光の全光量の値それぞれにおける特性が得られるので、実際の多波長一括増幅時において光ファイバ増幅器に入力する信号光の光量が変動する場合にも、それぞれの場合における光ファイバ増幅器の特性を評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光ファイバ増幅器評価装置の構成図である。

【図 2】光ファイバ増幅器の構成図である。

【図 3】利得が波長に対して単調増加する波長範囲における利得の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図 4】利得が波長に対して単調増加する波長範囲における雑音指数の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図 5】利得が波長に対して単調増加する波長範囲における利得の波長依存性について行なった実験の結果を示すグラフである。

【図 6】利得が波長に対して極大を有する波長範囲における利得の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図 7】利得が波長に対して極大を有する波長範囲における雑音指数の波長依存性について行なったシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図 8】利得が波長に対して極大を有する波長範囲における利得の波長依存性について行なった実験の結果を示すグラフである。

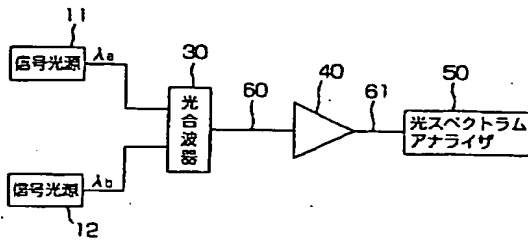
【図 9】光中継伝送装置の構成図である。

【符号の説明】

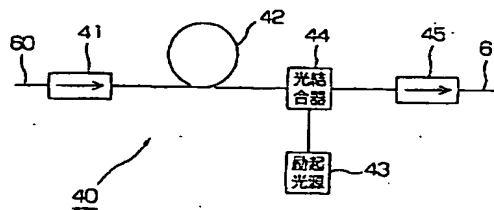
11, 12…信号光源、30…光合波器、40…光ファイバ増幅器、41…光アイソレータ、42…増幅用光ファイバ、43…励起光源、44…光結合器、45…光アイソレータ、50…光スペクトラムアナライザ、60, 61…光ファイバ伝送路。



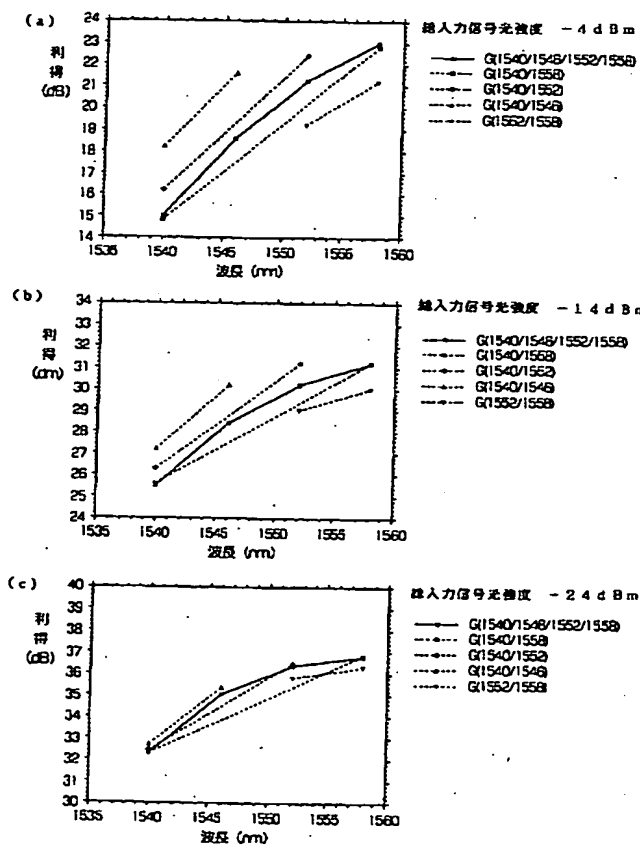
【図 1】



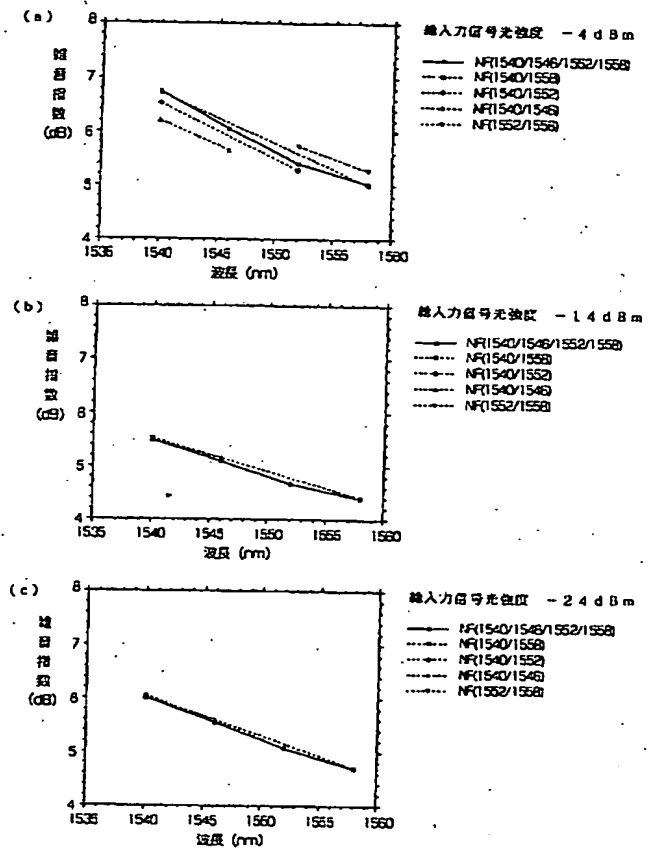
【図 2】



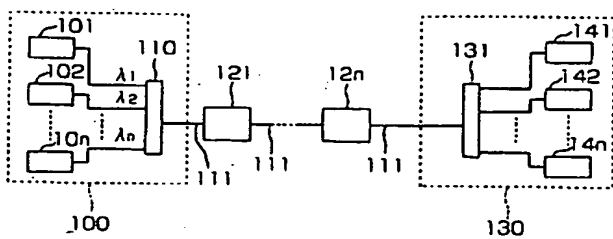
【図 3】



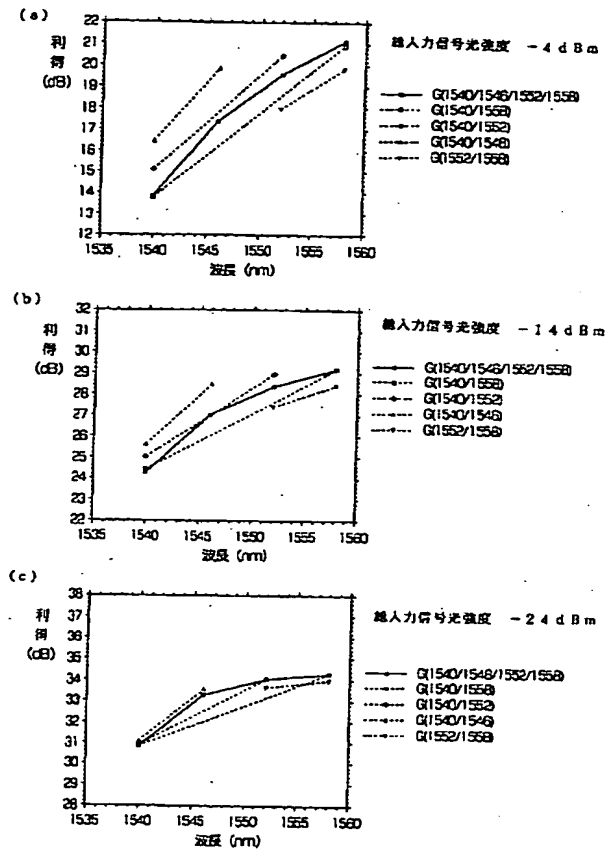
【図 4】



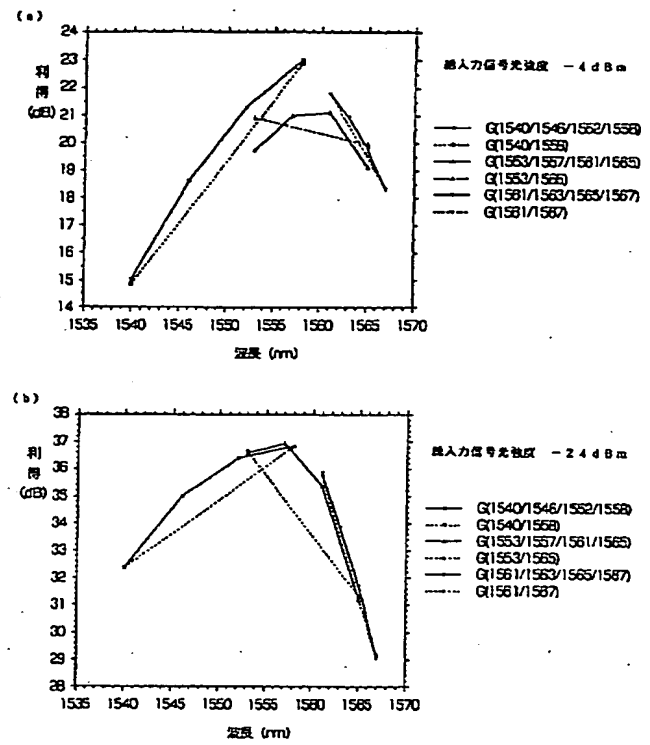
【図 9】



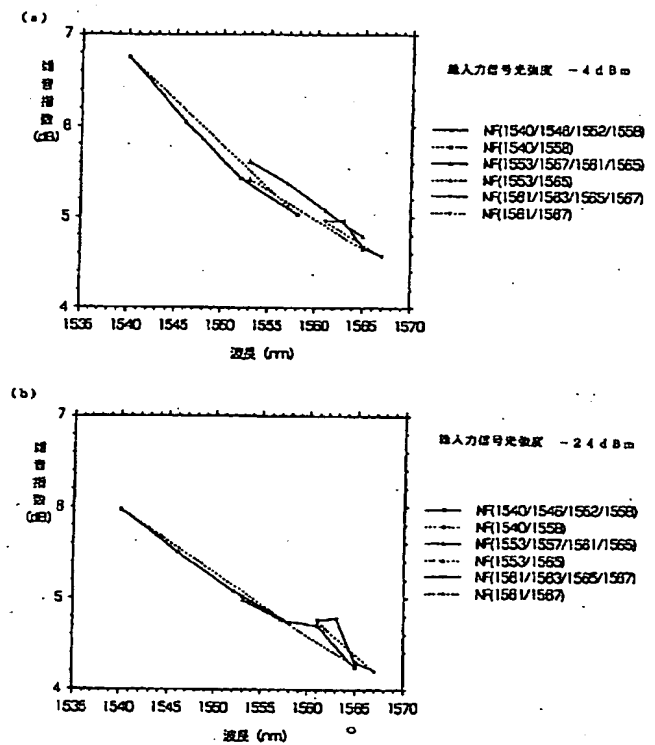
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

